Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 667-677

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص. 677-667

اثر شستشوی گوشت چرخ‌شده ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) در حضور پراکسید هیدروژن بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی تهیه شده

نرجس بادفر[1]- سید علی جعفرپور[2*]- مهدی عبدالهی[3]

تاریخ دریافت: 1397/03/06
تاریخ پذیرش: 1398/02/25

چکیده

در این پژوهش از ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) جهت تولید سوریمی استفاده شد و اثر پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، دفعات شستشو و نسبت آب به گوشت در چهار تیمار (یک‌بار شستشو،1:3، 3%؛ یک‌بار شستشو،1:3، 2%؛ دوبار شستشو،1:2، 1%؛ سه‌بار شستشو،1:2، 1%) بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی مطالعه شد. طبق نتایج، نمودارهای آزمون‌های رئولوژیکی روبش فرکانسی، روبش‌تنشی و روبش‌دمایی از روند نسبتاً یکسانی برخوردار بودند. طی فرآیند تشکیل ژل بر اثر حرارت در تمامی تیمارها، کم‌ترین مقدار G' (مدول ذخیره) بین 50 تا 52 درجه سانتی‌گراد ثبت شد. سپس با افزایش دما از 52 تا 62 درجه سانتی‌گراد منحنی G' (مدول ذخیره) روند افزایشی داشته و از دمای 62 تا 80 درجه سانتی‌گراد منحنی روند نسبتا یکنواخت داشت. تغییرات در نمودار G'' روند مشابه‌ای با G' نشان داد.که این تغییرات منطبق با الگوی نمودار زاویه فازی تأخیری بود. در آزمون خزش-بازیابی، کم‌ترین و بیش‌ترین کرنش به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه 5 (1% H_2O_2 ، 1:2 ، دو بار شستشو) بود. در مرحله بازیافت و پس از طی مدت زمان 300 ثانیه کرنش ایجادشده در هیچکدام از نمونه‌ها به حالت اولیه خود نرسید که به بدین معنی است که در مواد ویسکوالاستیک بازیافت تنش اعمال‌شده به‌صورت نسبی بوده و بخشی از ساختار دیگر قابل بازیافت نیست. نتیجه‌گیری کلی این که حضور H_2O_2 ، طی فرآیند شستشوی گوشت چرخ‌شده، فاقد اثر منفی معنی‌دار بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی تهیه شده بود.

واژه‌های کلیدی: کپور نقره‌ای، پراکسید هیدروژن، ویژگی‌های رئولوژیکی

مقدمه

سوریمی (گوشت چرخ‌شده ماهی شامل پروتئین‌های میوفیبریل) یک ماده کاربردی اصلی در محصولات دریایی تقلیدی است (مانند بازوی خرچنگ) و به علت خواص ژلی منحصر به فرد خود ارزشمند است. همانطور که تقاضا برای غذاهای سالم غنی از پروتئین و کم‌چرب افزایش می‌یابد تقاضا برای سوریمی افزایش یافته است (Muriel-Galet *et al.*, Jafarpour and Gorczyca, 2008; 2015). همچنین، مصرف آن در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه رو به افزایش است (Endoo and Yongsawatdigul, 2014). علاوه بر این، تقاضا برای کیفیت بالای سوریمی نیز افزایش یافته است و در پی صید بیش از حد ماهی پولاک آلاسکا (*Gadus chalcogrammus*) و استفاده از آن به‌عنوان منبع اصلی جهت تولید سوریمی در صنعت، تعدادی از ماهیان کم‌مصرف در تولید این محصول استفاده می‌شوند (Jiang *et al.*, 2000). از این میان سوریمی تولید شده از گونه‌های پرورشی مانند کپور و گربه‌ماهیان (*Pangasius*) نقش مهمی را در پاسخ‌گویی به نیاز بازار جهانی ایفا می‌کنند (Park, 2013). درمیان گونه‌های پرورشی، کپور ماهیان بزرگ‌ترین و ارزان‌ترین بیومس غذایی از آبزیان در جهان هستند و با تولید 4967739 تن در سال 2014، یکی از مهم‌ترین گونه‌های ماهی‌های آب شیرین در جهان می‌باشد و به تدریج به‌عنوان یک جایگزین بالقوه برای ماهی‌های دریایی در فرآوری سوریمی در نظر گرفته می‌شوند (FAO, 2016). از آنجایی‌که تقاضا برای کیفیت بالای سوریمی در حال افزایش است، ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی، جهت به‌دست آوردن اطلاعات بسیاری در رابطه با ویژگی‌های بافتی سوریمی و کامابوکو روشی مفید می‌باشد. خصوصیات بافتی و رئولوژیکی، از خواص کیفی مواد غذایی هستند و در انتخاب و بازارپسندی آن‌ها نقش مهمی دارند و در بعضی از مواد غذایی، این

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، فرآوری محصولات شیلاتی، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
2- دانشیار، فرآوری محصولات شیلاتی، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
3- پژوهشگر، گروه علوم غذایی و تغذیه، دانشگاه چالمرز سوئد.
(*- نویسنده مسئول: Email: a.jafarpour@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i1.74928

ویژگی ها مهم‌ترین خواص ظاهری و حسی فرآورده را تشکیل می‌دهند (قنبرزاده،1392). در دهه‌های اخیر، پژوهشگران صنایع غذایی بر روش‌ها و محصولاتی که می‌توانند خواص تکنولوژیکی و عملکردی ماکرومولکول‌های مواد غذایی را تغییر بدهند و قابلیت‌های کیفی و حسی و تغذیه‌ای محصولات را ارتقا بدهند، تمرکز کرده‌اند (اشرفی و همکاران،1397). رئولوژی علمی است که با تغییر شکل و جریان مواد ارتباط دارد. بیش‌تر آزمون‌های رئولوژیکی با استفاده از یک نیروی خاص روی ماده و اندازه‌گیری جریان و یا تغییر شکل ایجاد شده در مواد انجام می‌شوند. خواص رئولوژیک یک ماده با تجزیه و تحلیل روابط بین نیروی به‌کارگرفته و جریان یا تغییر شکل حاصل بررسی می‌شوند (McClements, 2005). آزمون‌های رئولوژیکی خصوصیات دینامیکی را در قالب شاخص‌های مدول ذخیره یا الاستیسیته (G')، مدول افت یا گرانروی (G") و زاویه فازی (tan δ) توصیف و بررسی می‌کنند. پژوهشگران بسیاری در گذشته از ارزیابی رئولوژیکی جهت ارزیابی رفتار دینامیکی پروتئین‌ها استفاده کردند. هم‌چنین، پارامترهای رئولوژیکی در درک مکانیسم تغییر حالت سوریمی از حالت سول به ژل بسیار مفیدند (Jafarpour and Gorczyca, 2009). بنابراین اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی معمولا روشی است که به‌منظور بررسی تغییر حالت بافت از حالت سول به ژل و توصیف ویژگی‌های ویسکوالاستیک شبکه ژل استفاده می‌گردد. رئولوژی روشی مفید و مؤثر در تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ماده است که با ژل‌سازی آن در ارتباط بوده و در نهایت موضوع پایه‌ای برای بررسی ویژگی‌های بافتی می‌باشد (Hamann and MacDonald, 1992). مشکل موجود در به کارگیری منابع ماهیان آب‌های شیرین جهت تهیه سوریمی، محدودیت بازار آن‌ها به دلیل طعم، بو و رنگ نامطلوب و ایجاد ژل ضعیف‌تر نسبت به گونه‌های دریایی می‌باشد (Nopianti *et al*., 2011). یکی از عوامل اصلی ایجاد رنگ نامطلوب در سوریمی ماهیان آب‌های شیرین مربوط به قرمزتر بودن رنگ عضلات آن‌ها نسبت به عضلات گونه‌های ماهیان دریایی می‌باشد که این مسئله به‌طور قابل ملاحظه‌ای سبب پایین آوردن پارامتر L^* به‌عنوان شاخص رنگ روشن[1] در عضله به دلیل تراکم نسبتاً بالای پروتئین‌های هِم[2] در خون و عضلات تیره است، خصوصیات کیفی مانند رنگ، بافت و ایجاد ژل از عوامل مهم برای مقبولیت نهایی محصولات بر پایه سوریمی توسط مصرف‌کنندگان می‌باشد (Nopianti *et al*., 2011). فعالیت‌های پژوهشی زیادی جهت بهبود یافتن کیفیت رنگ فیله ماهیان مختلف انجام شده است. برای نمونه استفاده از عوامل گیاهی که در ساختار پایه خود دارای عامل چربی هستند و کلوئیدهای آب‌دوست مانند شیر، هیدروکلوئید سقز و ترکیبی از شکر، جاذب‌های سطحی[3] و چربی؛ اما به کارگیری پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در جهت بهبود رنگ گوشت ماهی بیش‌تر مورد توجه بوده است (جعفرپور و همکاران، 1388). پراکسید هیدروژن یک اکسیدان قوی است که به صورت گسترده در پردازش غذاهای دریایی به‌عنوان عامل سفیدکننده به کارگرفته می‌شود (Kołodziejska *et al*., 1999, Thanonkaew *et al*., 2008). در مطالعه‌ای، جعفرپور و همکاران (1388)، اثر تیمار پراکسید هیدروژن و pH را بر روی کیفیت رنگ و ریزساختار بافت فیله ماهی کپور معمولی ماده و ژل سوریمی تهیه‌شده از آن مورد بررسی قرار دادند. Shan و همکاران (2010) پژوهشی با موضوع بهینه‌سازی استفاده از پراکسید هیدروژن در فرآیند شستشوی گوشت ماهی کپور معمولی به روش سطح پاسخ (RSM) انجام دادند. با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که مطالعه بر اثرات پراکسید هیدروژن روی خصوصیات رئولوژیک سوریمی از گستردگی برخوردار نبوده ، لذا هدف از انجام این پژوهش تعیین شرایط بهینه تهیه سوریمی با به‌کارگیری از پراکسید هیدروژن در غلظت‌های پایین (1، 2و 3%) و بهبود خواص رئولوژیکی ژل سوریمی با استفاده از پراکسید هیدروژن و فاکتورهای تعداد دفعات شستشو (یک، دو و سه بار) و نسبت حجم آب به گوشت (1:2 و 1:3) بود.

مواد و روش‌ها

ماهی کپور نقره‌ای تازه از بازار ماهی ساری خریداری شد و سپس به آزمایشگاه فرآوری گروه شیلات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل گردید.

پراکسید هیدروژن (H_2O_2) با غلظت 35 درصد (Dr. Mojalali Chemical Laboratories، ایران) خریداری شد.

آماده‌سازی سوریمی

جهت آماده‌سازی خمیر سوریمی، ماهی‌ها بعد از منتقل شدن به آزمایشگاه با آب سرد شستشو شدند در ادامه اعمال سرزنی و تخلیه امعاء و احشاء انجام شد و مجددا با آب سرد شستشو داده و ماهی‌ها فیله شدند و فرآیند پوست‌کنی انجام گرفت و استخوان‌های آن به‌صورت دستی حذف شد. سپس گوشت آن با استفاده از چرخ گوشت با منفذ 3 میلی‌متر چرخ گردید.گوشت چرخ‌شده با آب سرد (8 درجه سانتی‌گراد) به مدت 5 دقیقه شسته شد. نسبت گوشت چرخ شده به آب براساس فاکتور نسبت گوشت:آب (W/V) متفاوت بود (1:2 و 1:3). عمل شستن گوشت چرخ‌شده بر اساس فاکتور تعداد دفعات شستشو از یک الی سه مرتبه تکرار شد و به‌منظور خروج آب جذب‌شده توسط پروتئین‌های میوفیبریل، در مرحله آخر شستشو مقدار

1 Lightness
2 Heme

3 Surfactants

0/3 درصد نمک طعام به مخلوط آب و گوشت اضافه شد. در مورد فاکتور پراکسید هیدروژن در غلظت‌های 1، 2 و 3%، به‌منظور بهبود رنگ گوشت چرخ‌شده در مرحله اول شستشو اعمال گردید. در انتها گوشت چرخ‌شده شسته و با استفاده از پارچه تنظیف با چشمه 1 میلی‌متر فیلتر شد. خمیر سوریمی تهیه شده با استفاده از مولینکس به مدت 2 دقیقه همراه با نمک طعام (2 درصد) مخلوط شد. دمای خمیر در تمامی مراحل زیر 15 درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. در حین چرخ‌کردن مقداری آب و یخ به مخلوط اضافه گردید تا علاوه بر تنظیم دمای خمیر سوریمی میزان رطوبت نیز در حد 80 درصد نگاه داشته شود (Jafarpour and Gorczyca, 2009).

رفتارهای رئولوژیکی

آزمون‌های روبش تنشی، روبش فرکانسی و روبش دما و آزمون خزش و بازیابی بر روی نمونه خمیر سوریمی جهت بررسی اثر پراکسید هیدروژن، دفعات مختلف شستشو و نسبت حجم آب به گوشت صورت گرفت. این آزمون‌ها توسط دستگاه رئومتر (MCR-301, Anton Paar- Germany) تنشی کنترلی مجهز به صفحه پارالل (25 میلی‌متر و گپ 1 میلی‌متر) استفاده شد. در این خصوص رفتار مدول‌های ویسکوالاستیک تیمارهای زیر، مورد بررسی قرار گرفت:

C: تیمار شاهد؛

S_2: تیمار یکبار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:3، غلظت 3% H_2O_2؛

S_4: تیمار یکبار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:3،غلظت 2% H_2O_2؛

S_5: تیمار دوبار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:2، غلظت 1% H_2O_2؛

S_3: تیمار سه بار شستشو، نسبت آب: گوشت 1:2، 1% H_2O_2.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تیمارهای بهینه مورد بررسی در این پژوهش حاصل پژوهشی بوده است که در قالب آزمایش فاکتوریل و به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزارSPSS version 17 انجام پذیرفت و آنالیزداده‌ها در قالب تجزیه و تحلیل واریانس Multivariate Analysis انجام شد تا معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین تیمارها مشخص گردید و سپس از آزمون دانکن برای مشخص کردن تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها در سطح اطمینان 95 درصد انجام گردید. نتایج پژوهش پیشین (بافت و ریز ساختار ژل سوریمی ماهی کپور نقره‌ای متأثر از به‌کارگیری پراکسید هیدروژن طی مراحل شستشوی گوشت چرخ‌شده) منجر شد، تیمار های ذکر شده به‌عنوان تیمار بهینه انتخاب گردند.

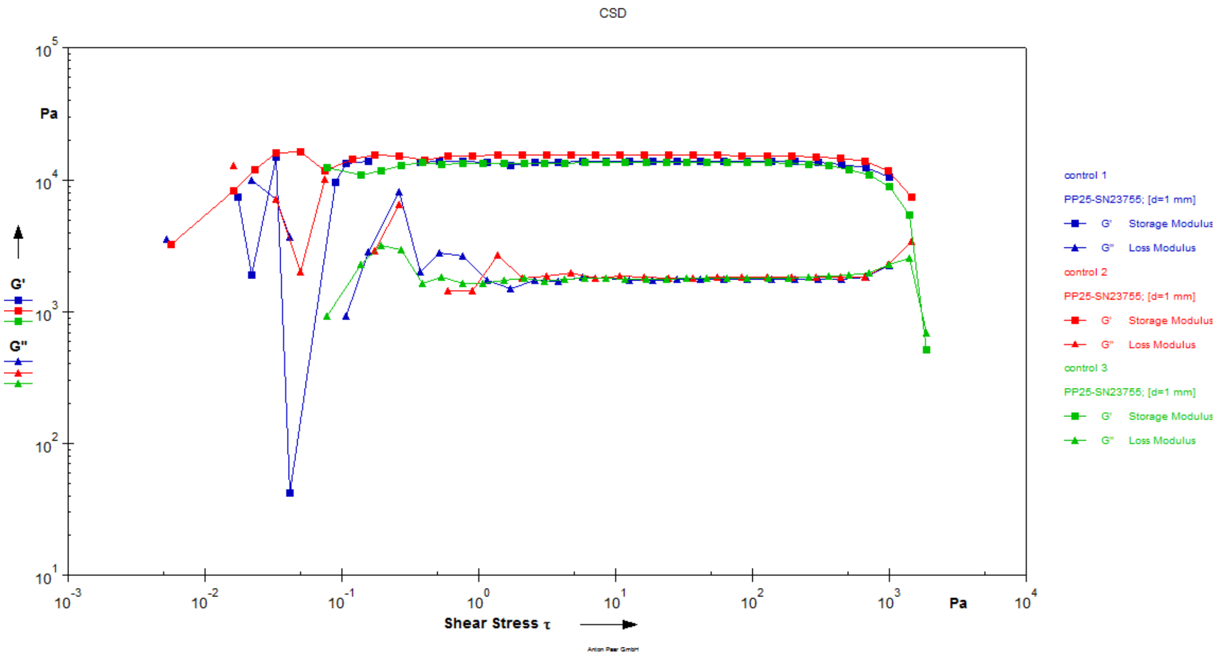
نتایج و بحث

آزمون روبش تنش

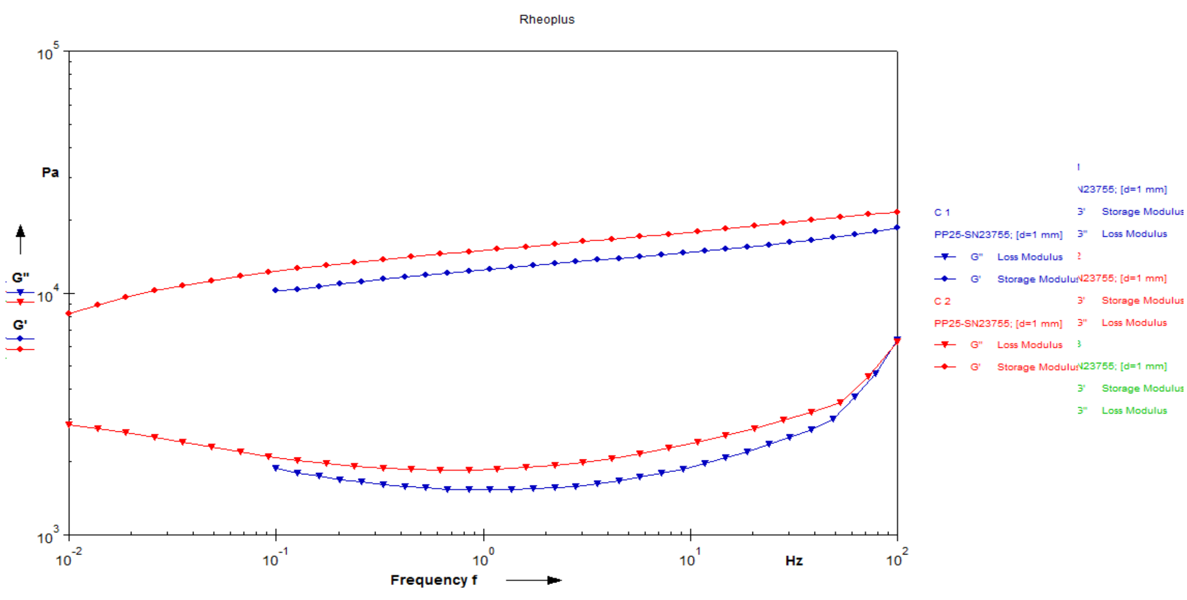
در آزمون روبش تنش، محدوده تنش (0/01– 1000 پاسکال) و فرکانس 1 هرتز در دمای 10 درجه سانتی‌گراد صورت گرفت (شکل 1). این آزمون با استفاده از خمیر سوریمی دارای 2% نمک و بدون پراکسید هیدروژن انجام شد تا محدوده خطی تنش مورد نیاز جهت اعمال در آزمون روبش دمایی مشخص شود. با توجه به شکل 1، مدول ذخیره (G’) بالاتر از مدول افت (G’’) قرار دارد که این موضوع نشان‌دهنده این است که خمیر سوریمی ماهیت ویسکوالاستیک دارد. و بازه عددی تنش بین 10 تا 120 پاسکال در محدوده خطی ویسکوالاستیک قرار دارد که از این بین با توجه به منابع و پژوهش‌های قبلی (Jafarpour and Gorczyca, 2009) تنش 100 پاسکال به‌عنوان تنش مورد نظر در آزمون روبش دمایی در نظر گرفته شد. با اعمال بیش‌تر تنش و با گذشتن آن از مرز 500 پاسکال مدول‌های ذخیره و افت به‌ترتیب به سمت پایین و بالا منحرف شدند که این امر به دلیل از هم گسیختگی باندهای پروتئینی در شبکه ژل خمیر سوریمی است (Jafarpour and Gorczyca, 2009 , Ferris *et al*., 2009, Yoon *et al*., 2004).

آزمون روبش فرکانسی

به‌منظور اعمال آزمون روبش دمایی به دو مؤلفه تنش و فرکانس نیاز می‌باشد. جهت تعیین محدوده خطی ویسکوالاستیک، آزمون فرکانس در محدوده 0/1 تا 10 هرتز و تنش 100 پاسکال در دمای 10 درجه سانتی‌گراد انجام شد (شکل 2). همانطور که در شکل 2 مشاهده می‌شود شاخص مدول ذخیره مجددا در بالای گراف مدول افت قرار گرفته است. این امر نشان‌دهنده ماهیت ویسکوالاستیک خمیر سوریمی مورد استفاده می‌باشد. ژل‌های قوی دارای G′ بیش‌تر از G″ و بدون وابستگی مدول‌های دینامیکی به فرکانس هستند (Ferris *et al*., 2009). در ابتدا دو شاخص مدول ذخیره و افت به سمت بالا متمایل شده و بازه خطی را نشان دادند و به عبارتی مدول-های G′ و G″ مقداری وابستگی به فرکانس داشتند و با افزایش فرکانس، این مدول‌ها افزایش یافتند که میزان عددی آن بین 0/3 تا 3 هرتز است. مجددا با توجه به مرور منابع و پژهش‌های قبلی صورت گرفته در رابطه با ژل سوریمی مقدار عددی فرکانس 1 هرتز به‌عنوان فرکانس قابل استفاده جهت انجام آزمون روبش دمایی انتخاب گردید (Jafarpour and Gorczyca, 2009 , Ferris et al., 2009, Yoon *et al*., 2004).



شکل 1-آزمون روبش تنش.

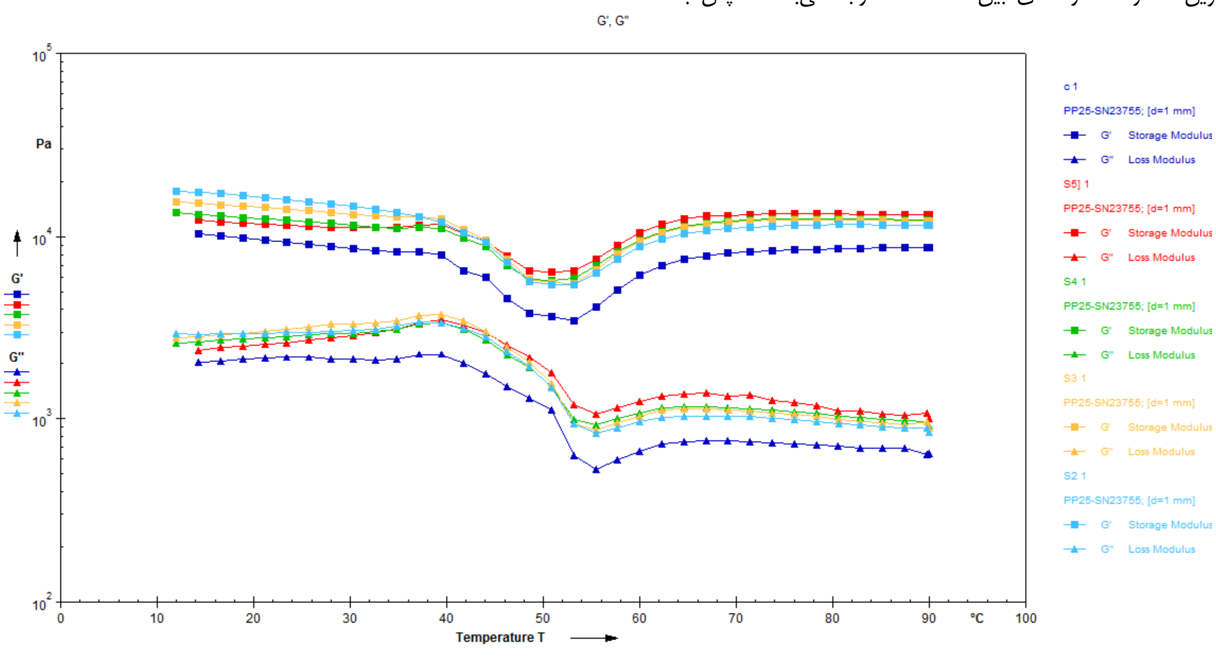


شکل 2-آزمون روبش فرکانس.

آزمون روبش دمایی

جهت بررسی اثرات فاکتورهای مختلف (غلظت H_2O_2، دفعات شستشو، نسبت آب به گوشت) بر خصوصیات رئولوژیکی دینامیکی ژل سوریمی، از دو مدول ذخیره (G′) و مدول افت (G″) استفاده گردید. آزمون روبش دما در محدوده دمایی 10 تا 90 درجه سانتی‌گراد و تنش 100 پاسکال و فرکانس 0/1 هرتز انجام شد. شکل 3 منحنی‌های 5 گروه تیمار را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل 3، دیده می‌شود، منحنی G′ برای تمام نمونه‌های متأثر از H_2O_2 همانند منحنی مربوط به تیمار شاهد، با افزایش دما در ابتدا کاهش می‌یابد و سپس روند افزایش اندکی داشته و دوباره با افزایش دما از 40 تا 50 درجه کاهش شدیدی دارد. در تمامی نمونه های متأثر از H_2O_2 و نمونه شاهد کم‌ترین مقدار G′ در دمای بین 50 تا 52 درجه می‌باشد. سپس با افزایش دما از 52 درجه تا 62 درجه سانتی گراد منحنی ذخیره انرژی روند افزایشی داشته و تا دمای 80 درجه سانتی‌گراد منحنی روند نسبتا پایداری دارد. با توجه به شکل 3، منحنی‌های G′ نمونه های متأثر از H_2O_2 به صورت واضحی از نمونه شاهد بالاتر بودند.

تغییرات موجود در نمودار مدول افت (G″) نیز در شکل 3 نشان داده شده است. این تغییرات روند مشابهی را با مدول ذخیره (G′) داشتند اما با این تفاوت که مقادیر G′ بسیار بیشتر از مقادیر G″ بود. به عبارت دیگر مقادیر بالاتر مدول افت تیمارهای متأثر از H_2O_2 نسبت به تیمار شاهد بیانگر بیش‌تربودن ویژگی ویسکوز و پایین‌تر بودن ویژگی الاستیسیته این تیمارها نسبت به تیمار شاهد می‌باشد.



شکل3-آزمون روبش دمایی.

طی حرارت دادن سوریمی ممکن است واکنش‌های متعددی رخ دهد که مکانیسم‌های مختلفی مانند ژلاسیون پروتئین‌ها در آن دخیل است. در رابطه با سوریمی، تغییرات ماکروسکوپی که بر اثر حرارت دادن مشاهده می‌شوند مربوط به اثر دما بر پروتئین‌ها می‌باشد. میوزین جزء اصلی تاثیرگذار در مکانیسم ژلاسیون است (Ferris *et al.*, 2009 , Tornberg, 2005) تغییراتی که در نمودارهای G′ مربوط به نمونه‌های سوریمی در این پژوهش رخ داد را می‌توان به فرآیند تشکیل ژل بر اثر حرارت نسبت داد (Yoon *et al.*, 2004). افزایش اولیه به مقدار اندک در نمودار G′ مربوط به نمونه‌های 4 (2% H_2O_2، 1:3، یک دفعه شستشو)، 5 (1% H_2O_2، 1:2، دو دفعه شستشو) و نمونه شاهد را می‌توان به تشکیل پیوندهای عرضی میان مولکول‌های پروتئین‌ها از طریق اتصالات هیدروژنی نسبت داد که در دماهای پایین رخ می‌دهند (Kim and Lee, 1987; kamath *et al.*, 1992; Zhang *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2007). چنین رفتاری را Liu و همکاران (2017) برای خمیر گوشت ماهی گزارش داده‌اند؛ اما شیب افزایشی در نمونه‌های آن‌ها تا دمای 35 درجه سانتی‌گراد بود.

Zhangو همکاران (2013) نیز وجود ژلاسیون دو مرحله‌ای را برای نمونه‌های حاوی ترکیب سوریمی (70 درصد) و گوشت گاو (30 درصد) به همراه نشاسته گزارش دادند. Kong و همکاران (2016) نیز وجود ژلاسیون دو مرحله‌ای را در تحقیقی بر اثر نشاسته برخواص ژل سوریمی پلاک آلاسکا تحت تیمارهای دمایی مختلف گزارش کردند. بر خلاف این موارد Esturk و Park (2014) افزایش یک مرحله‌ای در مقدار G′ را برای نمونه‌های اکتومیوزین به‌دست آمده از سوریمی برخی ماهیان سردابی و گرمابی گزارش کردند. در مطالعه حاضر پس از مرحله افزایشی اولیه، افت در مقدار G′ در دمای 40 درجه سانتی‌گراد برای نمونه‌های متأثر از پراکسید هیدروژن و شاهد را می‌توان به عوامل مختلف همچون فعالیت آنزیم‌های پروتئولتیک اندوژن مقاوم به حرارت، جداشدگی در ساختار شبکه اکتین- میوزین، تخریب ساختار شکل گرفته در مرحله اول که از طریق پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده بود و دناتوراسیون میوزین نسبت داد (Zhang *et al.*, 2013).

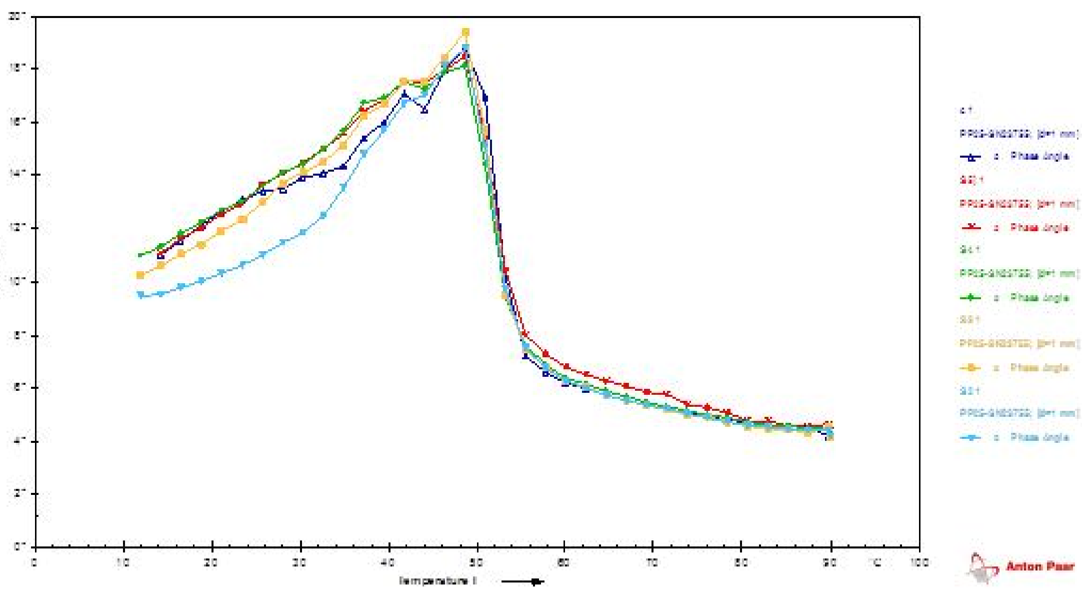
به عبارت دیگر، باز شدن پروتئین می‌تواند موجب افزایش سیالیت ساختار ژل مانند، شکسته شدن برخی پیوندها میان پروتئین‌ها و در نتیجه کاهش G′ شود (Yoon *et al.*, , Yin and Park, 2014 2004). انتقال از فرم هلیکس به کویل[1] در پروتئین میوزین و شکسته شدن شبکه تازه شکل گرفته پروتئینی را عامل افزایش سیالیت نمونه‌های سوریمی (Yin and Park, 2014) و اکتومیوزین ماهی سیم باله نخی (*Threadfin bream*) Yongsawatdigul و Park (2003)، ذکر کرده‌اند. در پژوهش حاضر در تمامی نمونه‌های متأثر از H_2O_2 و نمونه شاهد، کم‌ترین مقدار G’ در دمای بین 50 تا 52 درجه سانتی‌گراد می باشد که با گزارش Tornberg (2005)، مطابقت دارد که عنوان کرد باز شدن رشته‌های پروتئین میوزین در دمایی نزدیک به 56 درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد. کاهش میزان G′ با افزایش دما را محققان دیگر همچون Egelandsdal و همکاران (1986)، برای ژل‌های میوزین، Zhang و همکاران (2013) برای ژل‌های ترکیب سوریمی و گوشت گاو و Yin و Park (2014) برای سوریمی ماهی پولاک آلاسکا نیز گزارش کردند. با افزایش دما مقدار G' نیز افزایش یافت که نقطه شروع آن از 52 درجه سانتی‌گراد در نمونه شاهد و سایر تیمارها بوده و تا دمای 80 درجه سانتی‌گراد ادامه داشته و در دمای بالاتر از آن تقریبا روند ثابت را طی کرده است. این افزایش ثانویه در طی حرارت‌دهی می‌تواند در درجه اول مربوط به توقف فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک مقاوم به حرارت بوده که به دنبال آن تقویت ساختمان ژل صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده شکل‌گیری ژل‌های پروتئینی با ماهیت الاستیک است. این حالت احتمالا به دلیل افزایش تعداد اتصالات عرضی بین توده‌های پروتئینی و قرارگیری پروتئین‌های دناتوره‌شده نهایی در شبکه پروتئینی ایجاد می‌گردد (Zhang *et al*., 2013). به‌طور کلی می‌توان گفت پروتئین‌ها در حالت طبیعی درهم آمیخته هستند، در این بین حرارت و یا تیمار شیمیایی باعث افزایش تغییرات در ساختار طبیعی پروتئین‌های میوفیبریلی و به‌خصوص میوزین می‌گردد که این تغییرات با تغییر ساختار و بازشدن پروتئین‌ها که ناشی از کاهش مارپیچ آلفا و تغییر حالت آن به صفحه بتا است، همراه است و در اثر آن در هنگامی که پروتئین‌ها از هم باز می‌شوند، سطوح واکنش‌پذیر مولکول‌های پروتئینی مجاور که توانایی ایجاد پیوند را با یکدیگر دارند می‌توانند از طریق پیوندهای بین مولکولی با یکدیگر ایجاد پیوند کنند. هنگامی که مقادیر مطلوبی از این پیوندها تشکیل شود، از طریق پیوندهای دی‌سولفیدی، کووالانسی غیر دی‌سولفیدی و یا پیوندهای هیدروفوبی، شبکه سه‌بعدی تشکیل می‌شود (Yoon et al., 2004 و Liu et al., 2007) با افزایش دما، از دمای 80 درجه سانتی‌گراد به بعد از شیب افزایشی کاسته شده و حالت نمودار تقریبا به‌سمت مسطح‌شدن پیش رفته که دلیل آن نتیجه اثر دما پس از تکمیل تجمع و توده‌ای شدن پروتئین‌ها است (Liu *et al*., 2007).

زاویه فاز یا تانژانت دلتا (tan δ) و بیانگر تغییرات الاستیسیته و ویسکوزیته طی ژلاسیون حرارتی می باشد و از نسبت "G به 'G به‌دست می‌آید. یک ماده کاملا الاستیک دارای δ صفر و یک ماده ویسکوز دارای δ 90 درجه است. سوریمی و سایر ژل‌های پروتئینی به صورت ویسکوالاستیک هستند که بعد از حرارت‌دهی تقریبا به فرم الاستیک در آمده و مقدار عددی δ آنها کم می‌باشد (جعفرپور، 1391). بنابراین مقدار tan δ در انتقال از سول به ژل کاهش می‌یابد (Fukushima *et al*., 2007). باتوجه به شکل 4 می‌توان مشاهده کرد که مقدار زاویه فازی از دمای 10 به 44 درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و سپس از 44 تا 48 درجه سانتی‌گراد کاهش معنی‌داری یافت. با افزایش بیشتر دما از 50 درجه سانتی‌گراد، مقدار tan δ به‌طور پیوسته کاهش یافت که به دلیل بالا بودن ویژگی الاستیسیته می‌باشد که در نمونه‌های حاوی H_2O_2 و نمونه شاهد تقریبا یکسان است.

افزایش اولیه در مقدار tan δ بیانگر افزایش بخش ویسکوز یا افزایش سیالیت به‌دلیل شکسته شدن ساختار پروتئین‌ها و کاهش tan δ با افزایش دما نشان‌دهنده شکل‌گیری پیش‌رونده بدنه ژل الاستیک با ساختار شبکه پروتئینی و به عبارت دیگر، سفت‌ترشدن ساختار نمونه‌ها است که مشابه گزارش Esturk و Park (2014)، برای اکتومیوزین به‌دست آمده از سوریمی ماهی‌های آب‌های سرد و آب‌های گرم است. علاوه براین، Yongsawatdigul و Park (2003)، نشان دادند که زاویه فاز اکتورمیوزین ماهی‌های گوازیم، ابتدا از دمای 10 تا دمای 32 درجه سانتی‌گراد کاهش وسپس تا دمای 41 درجه سانتی‌گراد افزایش و پس از آن دوباره کاهش می‌یابد که دلیل این تغییرات را دگرگونی‌های کنفورماسیونی و باز شدن ساختار

1 Helix-to-coil transformation

مارپیچی و پس از آن جمع شدن پروتئین‌ها و به‌خصوص میوزین و تشکیل پیوندهای بین مولکولی از طریق بر همکنش‌های هیدروفوبی و دی‌سولفیدی عنوان کردند. همانطور که در نمودار زاویه فازی حاصله از این پژوهش مشاهده شد، افزایش ذکرشده در تمامی نمونه ها به خوبی دیده شد که ضعیف بودن اتصالات ساختار شبکه‌ای آن را نشان می‌دهد و فاکتورهای اعمال شده در مطالعه حاضر اثر چندانی شکننده بودن اتصالات موجود در ساختار شبکه‌ای نداشته است. همچنین در خصوص کاهش ذکرشده Binsi و Shamasundar (2012)، عنوان کردند که کاهش در مقدار tan δ نشان از شکل‌گیری ساختار ژل دارد. روند تدریجی کاهش زاویه فازی در تیمارهای متأثر از H_2O_2 و تیمار شاهد موجود در این پژوهش از 10 به 44 درجه سانتی‌گراد بود و سپس در ابتدا در دمای 45 درجه سانتی‌گراد مقداری افزایش یافت و در نهایت روند کاهشی داشت که دلیل آن را دگرگونی‌های کنفورماسیونی و بازشدن ساختار مارپیچی و پس از آن جمع شدن پروتئین‌ها و بخصوص میوزین و تشکیل پیوندهای بین مولکولی از طریق بر همکنش‌های هیدروفوبی و دی‌سولفیدی است که در واقع نشان از افزایش 'G دارد (جاوید،1394).



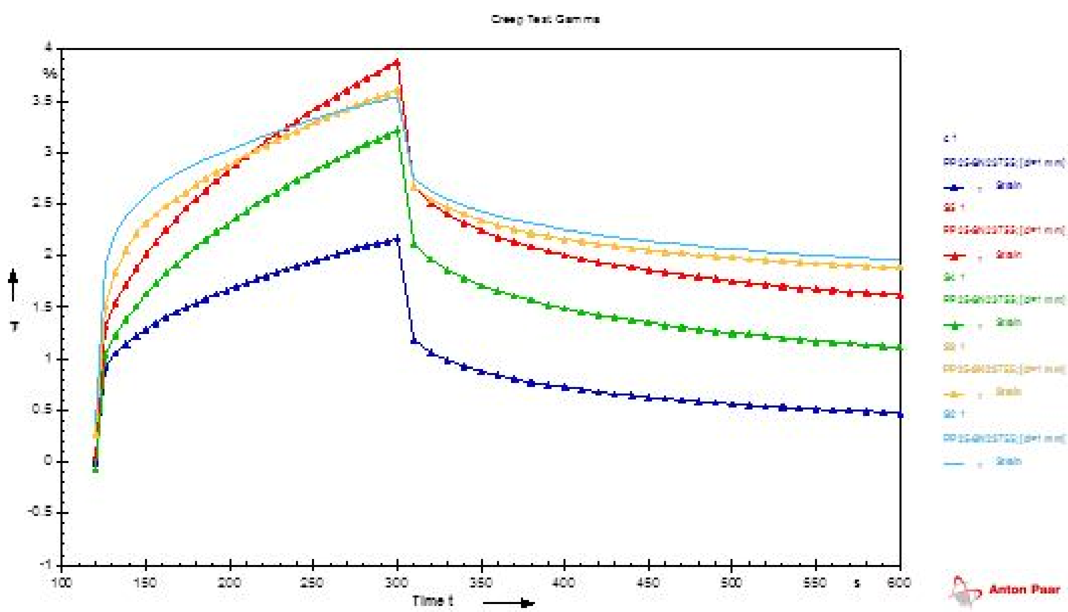
شکل4-زاویه فازی (tan δ).

آزمون خزش- بازیافت

شکل 5 نشان‌دهنده رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های متأثر از H_2O_2 و نمونه شاهد است این نمودار از دو دوره تأخیر و بازیافت تشکیل شده است. به‌طور کلی در ابتدای دوره تأخیر و اعمال تنش که در طی آن یک تنش ثابت بر نمونه اعمال شد، کرنش الاستیک فوری بطور ناگهانی افزایش یافته است. سپس با افزایش زمان، به تدریج در کرنش روند افزایشی ایجاد شد و شیب نمودار کاهش یافت. در طی مرحله بازیافت و در هنگام حذف تنش یک بازیافت سریع (بازیافت الاستیک) در کرنش رخ داد. پس از آن با افزایش زمان سرعت بازیافت کمتر گردیده و در انتها به یک حالت مسطح نزدیک شد. همانطور که در شکل دیده می‌شود کم‌ترین و بیش‌ترین کرنش به‌ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه 5 (1% H_2O_2 ، 1:2، دو بار شستشو) بود. در مرحله بازیافت و پس از طی مدت زمان 300 ثانیه در هیچکدام از نمونه‌ها بازیافت کامل مشاهده نشد و کرنش ایجاد شده در هیچکدام از نمونه‌ها به حالت اولیه خود نرسید.

آزمون خزش آزمونی است که در آن چگونگی رفتار ماده را در هنگام اعمال تنش ثابت در طی دوره زمانی معین مشخص می‌کند. در حالی که آزمون بازیافت رفتار آن را پس از حذف تنش مورد بررسی قرار می دهد. کمتر بودن کرنش نشان‌دهنده جامد بودن بیش‌تر است. در مواد ویسکوالاستیک بازیافت تنش اعمال شده به‌صورت نسبی بوده و هرچه فاز بازیافت طولانی‌تر باشد خصوصیت جامد بودن ماده نیز بیش‌تر است (Razavi *et al.*, 2013). در کل در ابتدای دوره تأخیر و وارد شدن تنش کرنش الاستیک فوری به سرعت افزایش یافت. در واقع این ناحیه قسمتی است که اگر در آن تنش حذف شود، نمونه به‌صورت کامل به وضعیت اولیه خود بر می‌گردد (قنبرزاده، 1392). همانطور که در شکل 5 مشاهده شد، تیمار شاهد در مقایسه با نمونه های متأثر از H_2O_2 دارای کم‌ترین افزایش در دوره تأخیر و

در هنگام اعمال تنش بود. در خصوص موادی که از ماهیت ویسکوالاستیک بالایی برخوردارند کاهش کرنش در برابر تنش می‌تواند به استحکام شبکه ژل پروتئینی نسبت داده شود یعنی به عبارتی در هنگام اعمال تنش کم‌ترین گسستگی در اتصالات عرضی به‌وقوع پیوسته است. این حالت در مورد نمونه شاهد در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده شد. در واقع در نمونه‌های متأثر از H_2O_2 در ابتدا اجزای کوچک مولکولی که دارای اتصالات عرضی ضعیف‌تر بوده دچار گسستگی شده و در ادامه و با افزایش زمان اعمال تنش، گسستگی به‌حدی افزایش یافته که در آن باندهای قوی‌تر مانند پیوندهای کووالانسی دچار گسستگی گردیدند. در طی مرحله بازیافت و در هنگام حذف تنش یک بازیافت سریع در کرنش رخ داد. پس از آن با افزایش زمان سرعت بازیافت کمتر گردیده و در انتها به یک حالت مسطح نزدیک شد، که از این بازیافت با نام بازیافت الاستیک تاخیری یاد می‌شود (قنبرزاده، 1392). در این مرحله و پس از طی مدت زمان 300 ثانیه در هیچکدام از نمونه‌ها بازیافت کامل مشاهده نشد و کرنش ایجاد شده در هیچکدام یک از نمونه‌ها به حالت اولیه خود نرسید. در مواد ویسکوالاستیک بازیافت تنش اعمال شده به‌صورت نسبی بوده و هرچه بازیافت طولانی‌تر باشد خصوصیت جامد بودن ماده نیز بیشتر است (Razavi *et al.*, 2013). اختلاف مشاهده شده بین نقطه شروع اعمال تنش و نقطه پایان آزمون نشان‌دهنده تغییر شکل دائمی است و بیانگر این مطلب است که بخشی از ساختار دیگر قابل بازیافت نیست (قنبرزاده، 1392).



شکل5- آزمون خزش-بازیابی.

نتیجه‌گیری

طی حرارت دادن سوریمی ممکن است واکنش‌های متعددی رخ دهد که مکانیسم‌های مختلفی مانند ژلاسیون پروتئین‌ها در آن دخیل است. تغییراتی که در نمودارهای G' مربوط به نمونه‌های سوریمی در این پژوهش رخ داد را می‌توان به فرآیند تشکیل ژل بر اثر حرارت نسبت داد. افزایش اولیه به مقدار اندک در نمودار G' مربوط به نمونه‌های 4، 5 و نمونه شاهد را می‌توان به تشکیل پیوندهای عرضی میان مولکول‌های پروتئین‌ها از طریق اتصالات هیدروژنی نسبت داد که در دماهای پایین رخ می‌دهند. با اعمال آزمون خزش- بازیافت، تیمار شاهد در مقایسه با نمونه های متأثر از H_2O_2 دارای کم‌ترین افزایش در دوره تأخیر و در هنگام اعمال تنش بود. در خصوص موادی که از ماهیت ویسکوالاستیک بالایی برخوردارند کاهش کرنش در برابر تنش می تواند به استحکام شبکه ژل پروتئینی نسبت داده شود یعنی به عبارتی در هنگام اعمال تنش کم‌ترین گسستگی در اتصالات عرضی به‌وقوع پیوسته است. نتیجه‌گیری کلی این که حضور H_2O_2، طی فرآیند شستشوی گوشت چرخ‌شده، فاقد اثر منفی معنی‌دار بر ویژگی‌های رئولوژیکی سوریمی تهیه شده بود.

منابع

اشرفی شهمیرزادی،ش. معتمدزادگان، ع. جعفرپور، ع. شهره، ب.، 1397، بررسی تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، نمک و زمان قوام یابی بر روی خواص رئولوژیکی ژل سوریمی، مجله علوم و صنایع غذایی، 74، 139-129.

جاوید، ح.1394،تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی های بافتی و رئولوژیکی سوریمی تهیه شده از ماهی کپور سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

جعفرپور، ع. گرسیکا الف. لئونارد ب. 1388، مطالعه اثر تیمار پراکسید هیدروژن و pH بر روی کیفیت رنگ و ریز ساختار بافت فیله ماهی کپور معمولی ماده و ژل سوریمی تهیه‌شده از آن، نشریه پژوهش های صنایع غذایی ایران، 5، 97-107.

جعفرپور، ع. 1391، سوریمی و ویژگی‌های فیزیکی ژل آن.انتشارات آوای مسیح: 20.

قنبرزاده، ب. 1392، مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، 81-130.

Binsi, P., & Shamasundar, B., 2012, Purification and characterisation of transglutaminase from four fish species, effect of added transglutaminase on the viscoelastic behaviour of fish mince. *Food Chemistry*, 132(4):1922-1929.

Endoo ,N., & Yongsawatdigul J., 2014, Comparative study on chemical and gel-forming properties of surimi from freshwater and marine fish during frozen ˚rage. *Food and Applied Bioscience Journal* 2(3):192-202.

Esturk, O., Park, J., 2014, Comparative Study on Degradation, Aggregation and Rheological Properties of Actomyosin from Cold, Temperate and Warm Water Fish Species. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14, 67-75.

FAO.,2016, FAO-yearbook of fishery statistics: *Aquaculture production*, p. 30, Rome.

Ferris, J., Sandoval, A., Barreiro, J., Sánchez, J., & Müller, A., 2009, Gelation kinetics of an imitation-mortadella emulsion during heat treatment determined by oscillatory rheometry. *Journal of food engineering* 95(4):677-683.

Fukushima, H., Okazaki, E., Fukuda, Y., & Watabe, S., 2007, Rheological properties of selected fish paste at selected temperature pertaining to shaping of surimi-based products. *Journal of food engineering*, 81(2):492-499.

Jafarpour ,A., & Gorczyca ,E., 2008, Alternative techniques for producing a quality surimi and kamaboko from common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Food Science* 73(9).

Jafarpour ,A., Sherkat ,F., Leonard ,B. & Gorczyca ,E.M., 2008,Colour improvement of common carp (*Cyprinus carpio*) fillets by hydrogen peroxide for surimi production. *International journal of food science & technology* 43(9):1602-1609.

Jafarpour, A., & Gorczyca, E.M., 2009, Rheological characteristics and microstructure of common carp (Cyprinus carpio) surimi and kamaboko gel. *Food biophysics* 4(3):172-179 .

Jafarpour, A., & Gorczyca, E., 2009, Characteristics of sarcoplasmic proteins and their interaction with surimi and kamaboko gel. *Journal of Food Science*, 74(1).

Jiang, S. 2000, Enzymes and their effects on seafood texture. Seafood enzyme: *Utilization and influence on postharvest seafood quality*,411-450.

Kamath, G., Lanier, T., Foegeding, E., & Hamann, D., 1992, Nondisulfide covealent cross-linking of myosin heavy chain in "setting" of Alaska Pollock and atlantic croaker surimi. *Journal of Food Biochemistry*, 16(3):151-172.

Kim, J., & Lee, C., 1987, Effect of starch of textural properties of surimi gel. *Journal of Food Science*, 52(3):722-725.

Kołodziejska, I., Sikorski, Z.E., & Niecikowska, C., 1999, Parameters affecting the isolation of collagen from squid (*Illex argentinus*) skins. *Food Chemistry*, 66(2):153-157.

Kong, W., Zhang, T., Feng, D., Xue, Y., Wang, Y., Li Z., Yang, W. & Xue, C., 2016 , Effects of modified starches on the gel properties of Alaska Pollock surimi subjected to different temperature treatments. *Food Hydrocolloids*, 56:20-28.

Liu, R., Zhao, S., Xiong, S.-b., Xie, B.j., & Liu, H.m., 2007, Studies on fish and pork paste gelation by dynamic rheology and circular dichroism. *Journal of Food Science* 72(7).

Macdonald, G., & Hamann, D., 1992, Rheology and texture properties of surmi based food. *Surmi Technology*:429-500.

McClements, D., 2005, Food emulsions in practice. Food Emulsions: Principlles, Practises and Techniques. CRC Press, *Boca Raton*:515-543.

Muriel-Galet ,V.,Lopez-Carballo ,G.,Gavara ,R.&Hernández-Muñoz ,P.2015,Antimicrobial effectiveness of lauroyl arginate incorporated into ethylene vinyl alcohol copolymers to extend the shelf-life of chicken stock and surimi sticks. *Food and bioprocess technology* 8(1):208-217.

Nopianti, R., Huda N., & Ismail N., 2011, A Review on the Loss of the Functional Properties of Proteins during Frozen Storage and the Improvement of Gel-forming Properties . *American Journal of food technology*, 6(1):19-30.

Park J.W., 2013, Surimi and surimi seafood, *CRC press*: 491-493.

Razavi, S.M., Taheri,H., & Sanchez, R., 2013, Viscoelastic characterization of sage seed gum. *International Journal of Food Properties*, 16(7):1604-1619.

Thanonkaew, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Decker, E.A., 2008, The effect of antioxidants on the quality changes of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) muscle during frozen storage. *LWT-Food Science and Technology*. 41(1):161-169.

Tornberg, E., 2005, Effects of heat on meat proteins–Implications on structure and quality of meat products. *Meat science*, 70(3):493-508.

Yin, T., & Park, J.W., 2014, Effects of nano-scaled fish bone on the gelation properties of Alaska pollock surimi. *Food Chemistry* 150:4.468-63.

Yongsawatdigul, J., & Park, J., 2003, Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin. *Food Chemistry*, 83(3):409-416.

Yoon, W., Gunasekaran, S., & Park, J., 2004, Characterization of thermorheological behavior of Alaska pollock and Pacific whiting surimi. *Journal of Food Science*, 69(7):338-343.

Zhang, L., Xue, Y., Xu, J., Li, Z., & Xue, C., 2013, Effects of high-temperature treatment (⩾ 100 C) on Alaska Pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels. *Journal of food engineering*, 115(1):115-120.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 667-677

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص. 677-667

The Effects of Washing the Minced of Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the presence of Hydrogen peroxide on Rheological Properties of produced Surimi

N. Badfar[1], S. A. Jafarpour[2*], M. Abdolahi[3]

Received: 2018.05.27
Accepted: 2019.05.15

Introduction: There is an expanding market for surimi in the world, and much interest in surimi throughout the seafood and food industry by the rapid growth in popularity of surimi-based products. This interest justifies an investigation into the applicability of freshwater fish species such as Silver carp, as an alternative fish resource, for surimi and surimi based products. Rheology concerns the flow and deformation of substances and, in particular, to their behavior in the transient area between solids and fluids. Moreover, rheology attempts to define a relationship between the stress acting on a given material and the resulting deformation and/or flow that takes place. Rheological properties are determined by measuring force and deformation as a function of time. Rheological evaluation is a useful technique for gathering information on the textural characteristics of surimi and kamaboko. It describes the surimi dynamic characteristics in the form of storage modulus (G′), loss modulus (G″), and phase angle (δ).

Materials and methods: Whole Silver carp fish were gutted and the head removed, Fillets were minced by a meat mincer with a mesh size of 3 mm, then mince washed one, two and three times at ratio of 1:3 and 1:2 (mince: water) and dewatered. The mince was turned into surimi in a food processor operated for 2 min. salt (2%) was sprinkled over the mince. Ice water was also sprinkled over the mince to adjust the moisture content of the paste to 80 mL/ 100 g.

Dynamic tests using a rheometer (MCR-301, Anton Paar- Germany) were carried out on the surimi gel after setting. The region of linear viscoelasticity of the surimi paste was determined by both stress and frequency sweep tests. The thermorheological behavior of Silver carp surimi was evaluated using a temperature sweep test and reported using sol-gel transition thermographs. The stress of 100 Pa was considered as the stress and the frequency of 1 Hz was considered as the frequency in the frequency sweep test, then Temperature sweep test involved heating the surimi samples from 10 to 90°C. Also Crip-recovery test was performed on the surimi in 300 seconds.

Results & discussion: Rheological tests: Frequency sweep, Stress sweep and Temperature sweep graphs were relatively similar and in all samples affected by H_2O_2 and the control sample, the lowest value of G' was recorded between 50 and 52°C. Then, with increasing temperature from 52 to 62°C, the curve G' increased and the curve was stable at temperatures up to 80°C. Changes in the G' graphs can be attributed to the process of forming the gel by heating. Changes in the G" graph showed a similar trend with G'. In the creep-recovery test, the lowest and most strain were belonged to the control and sample 5 (1% H_2O_2, 1: 2, twice washing). Studying the figure of Creep-recovery test showed the samples affected by H_2O_2 had more resistance against applied stress in compression with control sample which expressed the effect of H_2O_2 on creating more and effective covalence cross-linking resulting more stable and constant gel network. During Surimi's heating, there are several reactions that involve various mechanisms, such as protein gelation. About Surimi, the observed macroscopic changes are related to the effect of temperature on proteins. The presence of H_2O_2 during the washing process did not have a significant negative effect on rheological properties of Surimi.

Keywords: Silver carp, Hydrogen peroxide, Rheological properties.

1. M.Sc Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Associate Professor, Department of Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Researcher, Department of Food and Nutrition Sciences, Chalmers University, Sweden
*(Corresponding Author: a.jafarpour@sanru.ac.ir)